

УДК 621.772

**А.Г. Рубан**

«Worthington Cylinders GmbH», Beim Herrenhaus, 1, Kienberg bei Gaming, Austria, A-3291

e-mail: ruban@wthg.cz

## АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК БАЛЛОНОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ СЖАТЫХ ГАЗОВ

*Рассматриваются тенденции развития современного рынка газовых баллонов высокого давления. Описывается конструкционный ряд баллонов высокого давления для технических газов, ацетилена, компримированного природного газа, смесей дыхательных аппаратов. Анализируются технические характеристики, особенности, а также эксплуатационные преимущества цельнотянутых металлических баллонов для газов высокого давления. Приводятся убедительные подтверждения высокого качества баллонов компании «Worthington Cylinders GmbH».*

**Ключевые слова:** Баллоны высокого давления. Композитные баллоны. Стальные баллоны. Цельнотянутые металлические баллоны. Технические газы. Природный газ. Ацетилен. Параметры баллонов. Безопасность эксплуатации.

**A.G. Ruban**

## CHARACTERISTICS ANALYSIS OF HIGH PRESSURE CYLINDERS FOR COMPRESSED GASES

*The trends of the modern market of high pressure gas cylinders are considered. The possible construction range of high pressure vessels for industrial gases, acetylene, CNG, breathing air mixtures is described. The technical parameters, specifics and advantages of usage of forged seamless steel cylinders for industrial gases as the most common type of high pressure vessels are regarded. Convincing confirmation for high quality of cylinders manufactured by «Worthington Cylinders GmbH» is presented.*

**Keywords:** High pressure cylinders. Composite cylinders. Steel cylinders. Competitive advantages of forged seamless steel cylinders. Industrial gases. Natural gas. Acetylene. Cylinder parameters. Exploitation safety.

### 1. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ГАЗОБАЛЛОННЫХ РЫНКОВ

Современные тенденции глобализации, когда ведущие производители сокращают свои издержки и переносят производства в более благоприятные для бизнеса регионы, сказываются на мировом рынке сжатых промышленных газов и связанных с ним отраслях. Продвижение экологичных видов топлива, широкое применение модифицированной атмосферной упаковки, газирование напитков, развитие производств стали и металлопроката, электроники, нейтрализация промышленных сточных вод стимулируют всё больший спрос на тару для технических газов: метана, азота, кислорода, аргона, двуокиси углерода и различных газовых смесей.

Традиционно наибольшими потребителями газовых баллонов являются компании, оперирующие на рынке компримированного природного газа (метана), производители и дистрибуторы промышленных газов. В настоящее время в мире используют почти 8 млн. метановых баллонов: из них около 7 млн. — металлические баллоны [1], 1 млн. — композитные. Евро-

пейские компании наполняют, хранят и транспортируют примерно 40 млн. баллонов, обслуживая потребности рынка технических газов [2]. По оценкам «Worthington Cylinders GmbH», в 2008 г. годовая ёмкость рынка метановых баллонов составляла 2,13 млн. шт., а рынка промышленных газов — 4,16 млн. шт. К 2011 г. ожидается, что ёмкость первого сегмента возрастет на 4,44 млн. шт., а второго — на 5,575 млн. шт. Рост спроса на баллоны будет ожидать, прежде всего, в автомобилестроении, на рынках дыхательных аппаратов, пищевой промышленности, электроники, оборудования для пожаротушения и т.д.

Анализ данных, полученных от существующих и потенциальных покупателей нашей компании, позволяет охарактеризовать международное развитие спроса на газовые баллоны всех типоразмеров (см. табл. 1).

Как видно из табл. 1, наибольший спрос ожидается в Азии, где потребность в баллонах вырастет с 5,35 млн. шт. (2007 г.) до 7,945 млн. шт. (2011 г.). Основным мотивом роста будет расширение рынка метана в Таиланде, Индии, Индонезии, Малайзии и Филиппинах. Значительный рост ожидается на Ближнем Вос-

**Таблица 1.** Оценка роста спроса на газовые баллоны в мире, тыс. шт.\*

Регион	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2010 г.	2011 г.
Западная Европа	2150	2275	2429	2485	2516
Восточная Европа	1050	1127	1210	1300	1396
Южная Америка	890	919	949	981	1013
Северная Америка	1050	1054	1058	1062	1066
Азия	5350	5906	6524	7213	7945
Ближний Восток	1750	1874	2006	2149	2302
Австралия	105	106	107	108	109
Африка	230	257	290	333	388
Всего	12575	13518	14573	15631	16735

**Примечание:** \*) Согласно экспертным оценкам «Worthington Cylinders GmbH».

токе. Северная и Южная Америка продемонстрируют наименьший рост. Ожидаемый рост спроса в Западной и Восточной Европе в среднем составит примерно 5-7 % в год.

Динамичность газового рынка стран Восточной Европы подтверждают данные журнала «GasWorld» [3]. В 2005 г. рост рынка в этом регионе оценивался в 18 %, объём сделок по промышленным газам в 2006 г. составил 2 млрд. долл. США. При этом некоторые страны Восточной Европы развиваются динамичнее других. Например, на фоне стабилизации спроса в новых странах Евросоюза в Российской Федерации потребность в промышленных газах выше.

По оценкам генерального директора ОАО «Криогенмаш» *Юрия Горбатского*, рынок технических газов в мире составляет 60 млрд. долларов США, а российский — по разным оценкам — от 400 до 800 млн. долларов США [4]. По оценкам «Linde Gas», в 2006 г. доступный рынок технических газов в России не превышал 605 млн. евро, его рост достигает 10-15 % в год. Рынок же газов, заправленных в баллоны, составлял 480 млн. евро.

Оценку ёмкостей рынков баллонов в 2006 г. в каждой из стран Восточной и Центральной Европы даёт табл. 2. Развитие дисбаланса между спросом и предложением в указанном регионе — табл. 3.

**Таблица 2.** Оценка спроса на баллоны рынков Восточной Европы в 2006 г., тыс. шт.\*

Страна	Количество	%
Чехия	15500	1,75
Словакия	7700	0,87
Польша	53000	5,99
Болгария	33000	3,73
Румыния	42000	4,76
Венгрия	14000	1,58
Бывшая Югославия	7000	0,79
Прибалтика	15000	1,7
Украина	74000	8,37
Россия	413000	46,71
Другие страны СНГ	210000	23,75
Всего	884200	100

**Примечание:** \*) Согласно экспертным оценкам «Worthington Cylinders GmbH».

При росте спроса на баллоны ведущие мировые производители сосудов высокого давления до 2011 г. будут интенсивно увеличивать производственные мощности. Так, BTIC (Китай) планирует увеличение производства с 1,3 млн. до 2,2 млн. шт. баллонов; «Jindun» (Китай) — с 1,3 млн. до 1,7 млн. шт.; ЕКС (ОАЭ) — с 1 млн. до 1,5 млн. шт. Компании «Faber» (Италия) и «Vitkovice-Milmet» (Чехия) будут производить по одному миллиону баллонов каждая. С января 2007 г., перейдя на семидневную рабочую неделю, компания «Worthington Cylinders GmbH» увеличила производство баллонов до 750 тыс. шт. в год. Одновременно появляются и новые производители баллонов, например, «Stako» (Польша), LIZER (Индия) или IGV (Армения).

**Таблица 3.** Оценка дисбаланса между спросом и предложениями баллонов в Восточной Европе, тыс. шт.\*

Год	2007	2008	2009	2010	2011
Спрос	1050	1127	1210	1300	1396
Предложение	985	1135	1235	1235	1235
Дисбаланс	65	-8	-25	65	161

**Примечание:** \*) На основе экспертных оценок «Worthington Cylinders GmbH».

Описанная выше ситуация на рынке баллонов высокого давления в среднесрочной перспективе ведёт к стабилизации цен в 2008 г. и последующему их снижению в 2009 г. Этой тенденции также будет способствовать рецессия и замедление темпов развития экономики ведущих стран в 2008 г. и первой половине 2009 г. К 2010 г. в Европе ожидается стагнация рынка баллонов природного газа и увеличение спроса на композитные баллоны для транспорта и дыхательных аппаратов. Рост мощностей и ценовая конкуренция со стороны производителей баллонов из Азии и Европы приведут к уменьшению или ликвидации мощностей некоторых малорентабельных локальных производителей, у которых газовые баллоны являются непрофильной продукцией. Прогнозируется, что к 2011 г. разрыв между предложением и спросом баллонов в мире составит около 2,1 млн. шт. Более отчётливо проявится замедление роста рынка технических газов в Западной Европе и смещение роста этого рынка в страны Восточной Европы и Азии, где все активнее будут проходить консолидация рынка технических газов и его перераспределение в пользу таких больших международных компаний, как «Linde Gas», «Air Liquide», «Air Products» и «Messer» [3].

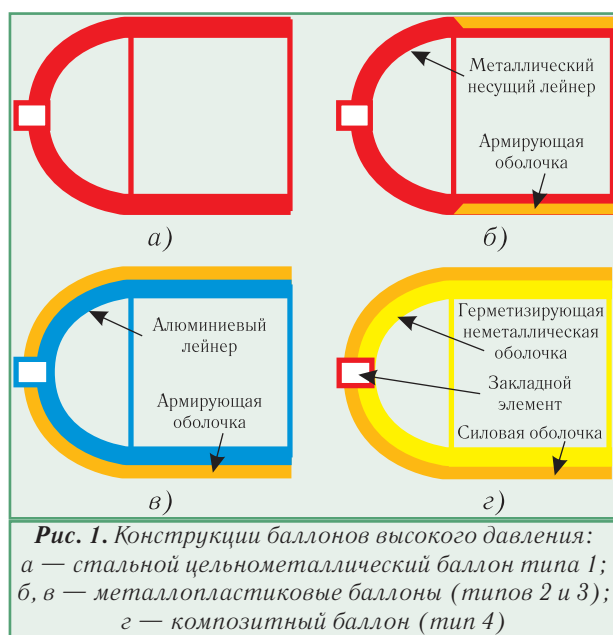
## 2. ТИПЫ БАЛЛОНОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Для реализации логистических и технологических процессов промышленные газы транспортируют в жидком или сжатом газообразном состоянии. Ограничимся рассмотрением характеристик и особеннос-

тей баллонов для доставки и хранения газов в сжатом газообразном состоянии.

Баллоны — металлические сосуды, предназначенные для хранения и перевозки сжатых, сжиженных и растворенных газов под давлением выше атмосферного. Различают баллоны низкого и высокого давления. Первые, например, используют для пропан-бутановых смесей (сжиженных углеводородных газов) и хладагентов. Их испытательное давление составляет 30 и 48 бар соответственно. Для сжиженных газов, а в некоторых случаях для ацетилена, допускается применение сварных баллонов. Баллоны высокого давления предназначены для промышленных газов и метана. В зависимости от спецификации их испытательное давление может быть от 300 до 450 бар.

В мировой практике сейчас принята классификация баллонов высокого давления, включающая четыре основных вида конструкций: цельнометаллические без применения сварки, изготовленные из легированной или углеродистой стали (тип 1); металлопластиковые со стальным или алюминиевым лейнером (тип 2); металлопластиковые с обмоткой типа «кокон» (тип 3) и композитные баллоны (тип 4). Схематично конструкции указанных типов сосудов представлены на рис. 1 [5].



Цельнометаллические баллоны типа 1 изготавливаются из листового металла, трубы или цельнометаллической заготовки без применения сварки. Облегченная конструкция металлопластиковых баллонов типа 2 достигается нанесением армирующей обмотки из композиционного материала на цилиндрическую часть тонкостенного стального или алюминиевого лейнера. К отдельному типу 3 относят композитные баллоны, в конструкциях которых имеется металлический лейнер, заключенный по всей поверхности в армирующую обмотку, именуемую коконом. Композитные баллоны типа 4 содержат усиливающую об-

мотку из композиционного материала предыдущего типа и внутреннюю полимерную герметизирующую оболочку (резина, полимеры и т.д.) с металлическими закладными элементами для подсоединения запорной арматуры [6].

При выборе того или иного типа баллона потребитель должен руководствоваться не только ценовыми соображениями. Необходимо принимать во внимание ограничения по массе баллонов, устойчивость к ударам, газонепроницаемость, данные испытаний на циклическую долговечность газом и т.д.

Цельнометаллические баллоны или баллоны со стальным лейнером имеют повышенные риски разрушения при содержании влаги в наполняемом газе выше нормативного. Однако баллоны типов 2 и 3 опаснее металлических при разрушении, так как упругие деформации в момент разрушения у металлокомпозитных баллонов значительно больше, чем у металлических. Запас энергии, высвобождаемой баллонами типов 2 и 3 при разрушении, больше, чем у типа 1 [6]. В баллонах типа 4 газ находится в непосредственном контакте с композиционным материалом, поэтому большинство таких баллонов ограничивается низким испытательным давлением.

Дополнительно, в зависимости от типа баллона, могут вводиться ограничения, учитывающие совместимость материала сосуда с заполняемым его техническим газом. Такие ограничения оговорены в международных стандартах: с металлами — в EN ISO 11114-1, с композиционными материалами — в EN ISO 11114-2 и EN ISO 11114-3 (применительно к кислороду) [7]. В России, например, применение материалов в контакте с газообразным кислородом регламентировано ГОСТ 12.2.052-81 [8].

Таким образом, основное преимущество баллонов, изготавливаемых с применением композиционных материалов, — меньшая масса. По сравнению с цельнометаллическим, удельный вес баллона типа 2 снижается в 2-3 раза [9]. Однако из-за высокой стоимости стеклопластика и трудоёмкой технологии изготовления стоимость таких баллонов выше, а срок службы меньше в связи с уменьшением со временем конструктивной прочности оплетки.

### 3. СРАВНЕНИЕ СТАЛЬНЫХ БАЛЛОНОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ГАЗОВ

Хотя композитные баллоны и применяются для технических газов и метана, анализ существующего мирового рынка показывает, что цельнометаллический баллон типа 1 по ценовым и технологическим характеристикам на сегодняшний день доминирует в существующем газобаллонном парке.

Известны три основные технологии производства стальных баллонов высокого давления: холодной глубокой вытяжкой из листового металла, цельнотянутые из бруса-заготовки (биллеты) [10] и изготавливаемые из трубы. В мире существует всего несколько широкопризнанных производителей первых сосудов,

**Таблица 4.** Характеристика 50-литровых баллонов по ГОСТ 949-73 с диаметром 219 мм

Параметр	Углеродистая сталь				Легированная сталь		
	Технические газы			Ацетилен <sup>1)</sup>	Технические газы		
Рабочее давление, бар	100	150	200	100	100	150	200
Испытательное давление, бар	150	225	300	150	—	225	300
Порожняя масса <sup>2)</sup> , кг	62,5	71,3	93	90 (включая ацетон и ЛПМ)	—	62,5	62,5
Высота, мм	1660	1685	1755	1370	—	1660	1660
Предел прочности при растяжении <sup>3)</sup> , МПа	638	638	638	638	—	883	883
Минимальная толщина стенки, мм	5,2	6,8	8,9	не менее 6,8	—	5,2	6

**Примечания:** <sup>1)</sup> Данные приведены для 40-литр. баллона в связи с отсутствием данных для 50-литр. баллона. Вместимость по ацетилену составляет 7,4 кг, масса тары около 65 кг. Для сравнения 40-литр. зарубежный баллон согласно EN1964-1 имеет диаметр 229 мм, длину 1150 мм, массу тары 53,2 кг, вместимость по ацетилену 8 кг. <sup>2)</sup> Масса баллона указана без башмака и кольца. Масса башмака баллона по ГОСТ 949-73 составляет 5,2 кг. <sup>3)</sup> В отечественной практике используется эквивалентный термин «временное сопротивление», обозначаемый  $R_g$  или  $\sigma_{\text{в}}$ .

например, «Faber». Наибольшее применение нашли баллоны, изготавливаемые из биллет «Worthington», «Vitkovice» и труб «Dalmine».

Опыт свидетельствует, что цельнотянутые баллоны, произведённые из биллеты, имеют лучшие эксплуатационные характеристики, чем баллоны, изготовленные из трубы. Кроме этого, надо учитывать возможность изготовления цельнотянутого баллона с более тонким дном, а следовательно и с меньшей массой, и уменьшение риска негерметичности, пористости и трещин в центральной зоне днища баллона. Как правило, последние легко обнаруживаются в процессе гидротестирования.

Наибольшее распространение в мире получили баллоны ёмкостью 50 л. Газовые операторы в странах СНГ только начинают переходить на 50-литровую тару. Здесь на рынке всё ещё доминируют ранее выпущенные Первоуральским, Бердичевским и Мариупольским заводами 40-литровые стальные баллоны.

Бесшовные баллоны среднего размера, используемые в странах СНГ, изготовлены по ГОСТ 949-73 [11] из труб углеродистой и легированной стали для газов высоких давлений на 100, 150 или 200 бар (см. табл. 4).

И хотя ГОСТ 949-73 со времени его введения не

претерпел существенных изменений, надо отметить, что, например, в пункте 10.2.5 запас прочности баллонов в РФ в 2003 г. был понижен с 2,6 до 2,4 согласно общепринятой европейской практике, а в Украине он так и остался на уровне 2,6 [12]. Поэтому западные производители должны здесь предлагать баллон не на 200 бар, а на 230 бар согласно EN 1964-1 для того, чтобы удовлетворить местным нормам по толщине стенки сосуда и позволить потребителю в перспективе использовать баллон на 200 бар, а не на расчётные 150 или 177 бар.

Для сравнения с баллонами, изготавливаемыми по ГОСТ 949-73, приведём основные параметры типичного 50-литрового баллона из высоколегированной хром-молибденовой стали западного производства на примере баллонов «Worthington Cylinders GmbH» из Австрии (см. табл. 5). Здесь обратим внимание, что западные производители для сжатых газов предлагают сегодня баллоны на рабочие давления 200 или 300 бар. Исполнение баллонов в версии 100 и даже 150 бар из углеродистых сталей считается зарубежными производителями технологией «вчерашнего дня».

С появлением первых баллонов высокого давления в 20-ых годах прошлого века применение углеродистых и низкоуглеродистых сталей в их производстве

**Таблица 5.** Характеристика 50-литровых баллонов Worthington-Heiser с диаметром 229 мм\*

Параметр	Газы						
	Стандартные технические газы				Водород (и газы с риском придания хрупкости металлу)		Ацетилен
Рабочее давление, бар	200	200	230	300	200	300	19
Испытательное давление, бар	300	300	345	450	300	450	60
Порожняя масса, кг	46,5	50	58	64	59	87	63,5 (включая пористый материал «A-10W ECO» и ацетон)
Высота, мм	1450	1490	1480	1520	1510	1580	1400
Предел прочности при растяжении, МПа	1135-1220	1000-1100	1000-1100	1140-1220	предел макс. 950	предел макс. 950	600-800
Минимальная толщина стенки, мм	4,2	4,7	5,4	6,2	5,8	8,5	
Стандарт	EN 1964-2	EN 1964-1	EN 1964-1	EN 1964-2	EN 1964-1	EN 1964-1	EN 1964-1 / EN 1800

**Примечание:** \*<sup>1)</sup> Для краткости изделия компании будем именовать в статье как баллоны Worthington-Heiser.



считалось обычным. Баллоны из этих сталей на 100 и 150 бар активно выпускали за рубежом до 60-ых годов прошлого века. Их производство до сих пор существует в некоторых странах СНГ. Наглядным примером являются данные табл. 4.

Со временем за рубежом начали применять улучшенные материалы. Если в 1935 г. предел текучести марганцевоуглеродистых сталей был 400 МПа, то в 60-ых годах он увеличился до 700-775 МПа из-за применения хром-молибденовых сталей. По мере совершенствования процесса нормализации и термообработки стали с увеличенным пределом текучести и пределом прочности на разрыв начался переход от 40-литровых баллонов с газовым объёмом 6 м<sup>3</sup> (150 бар), массой почти 70 кг и толщиной стенки 7,5 мм к 50-литровым баллонам с газовым объёмом 10 м<sup>3</sup> (200 бар) и массой до 65 кг. Это позволило добиться дальнейшего увеличения рабочего давления баллона и снижения его массы [13].

Следовательно, хорошие показатели по массе, толщине стенки и величине временного сопротивления у 50-литровых баллонов в таблицах 4 и 5 — результат использования лучшей термообработки и применения с начала 1990-ых годов высокопрочной стали с улучшенной ударвязкостью: с пределом прочности при растяжении около 1100 МПа и пределом текучести около 900 МПа. Эти два фактора обуславливают наличие в товарной номенклатуре баллонов Worthington-Heiser с рабочим давлением 300 бар [10].

На настоящий момент наша компания — единственный производитель баллонов в мире, продукция которого сертифицирована по TS16949, ISO9000, ISO14000 и OHSAS18000. Баллоны компании для технических газов сертифицированы согласно многим мировым стандартам, например, EN1964-1 и -2; ISO 4705; IS7285; DOT 3AA; TC 3AAM; BS 5045; ISO9809-1, -2 и -3; ГОСТ Р. Метановые баллоны Worthington-Heiser сертифицированы по ISO11439, ECE R110, NZS5454, ГОСТ Р.

Касаясь ацетиленовых баллонов, отметим, что такие российские компании из Екатеринбурга, как ОАО «Завод Уралтехгаз» и ООО «СварКомплект», предлагают сварные ацетиленовые баллоны (БСАЦ-40), которые с литой пористой массой (ЛПМ) на 36,5 кг легче ацетиленовых баллонов по ГОСТ 949-73. Их главное преимущество — меньшая масса. Баллон БСАЦ-40, в принципе, может конкурировать с 50-литровым ацетиленовым баллоном Worthington-Heiser, хотя ему присущи недостатки, связанные с наличием сварного шва, а следовательно опасностью наличия микропористостей, и меньшей вместимостью ацетилена. К тому же, «Worthington Cylinders GmbH» — единственная компания в Европе, которая может поставить баллон и пористую массу с одного завода [10].

Говоря об украинских производителях стальных баллонов, заметим, что трубный институт им. Я.Е. Осады (Днепропетровск) и Бердичевский машиностроительный завод «Прогресс» в 2001 г. предложили на рынке Украины 50-литровый метановый баллон

типа 1 весом 41 кг, с диаметром 215 мм, запасом прочности 2,6 и временным сопротивлением металла после термической обработки не менее 1275 МПа. За основу была взята соответствующая разработка фирмы «Fabeg». Указанный сосуд изготавливался из высоколегированных труб с номинальным диаметром 219 мм и толщиной стенки 8,5 мм. Данными о том, что завод «Прогресс» вышел на проектную мощность по производству этих баллонов не располагаем.

#### 4. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА СТАЛЬНЫХ БАЛЛОНОВ WORTHINGTON-HEISER

Высокопрочные сорта легированной стали и совершенство процессов производства баллонов обуславливают ряд преимуществ баллонов, отмеченных в [10] и указанных в табл. 5.

Во-первых, облегчённые баллоны обладают наилучшим соотношением объёма к массе порожнего баллона. Так, 50-литровый баллон Worthington-Heiser на 200 бар, разрешённый к применению в РФ, имеет массу 46,5 кг. Для сравнения, отечественный 50-литровый аналог весит 93 или, в лучшем случае, 62,5 кг. Дополнительная выгода — отсутствие излишнего веса башмака-подставки у баллонов с вогнутым дном.

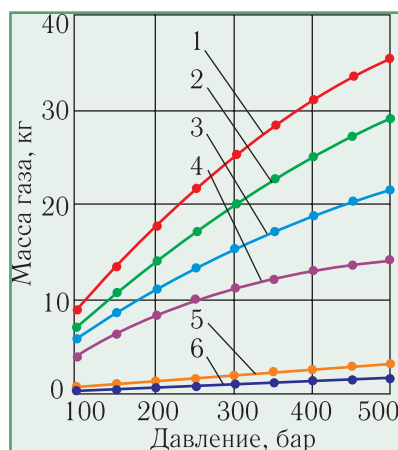
Во-вторых, в результате замены 40-литрового баллона на 150 бар на импортный 50-литровый на 200 бар, потребитель, по оценкам «Linde Gas» (г. Балашиха Московской области) сможет на 67 % увеличить объём газа в одном баллоне.

В-третьих, по оценкам Европейской Ассоциации технических газов (EIGA), эргономичный эффект присутствует и при переходе с 200- на 300-барный 50-литровый баллон: содержимое сосуда увеличивается на 35-45 % в зависимости от коэффициента сжимаемости газа. Механические свойства высокопрочных сталей (с пределом прочности при растяжении около 1100 МПа) увеличиваются всего на 15-25 %. О преимуществах сжатия некоторых из газов до 300 бар можно судить из рис. 2. Расчёты проводились на основе уравнений состояния Бенедикта-Вебба-Рубина для указанных газов [13].

В-четвёртых, переходя с традиционного на облегчённый и более вместительный стальной баллон, достигается экономия затрат, связанных с транспортными и складскими расходами. Уменьшаются потери времени на переподключение баллонов и дополнительные такелажные работы.

В-пятых, при использовании розничными продавцами технических газов новых баллонов Worthington-Heiser, арендованных у больших газовых компаний, сокращаются затраты на закупку-аренду баллонов, исключаются единовременные расходы на первичную обработку баллонов клиента под наполнение газом, а также расходы, связанные с переосвидетельствованием баллонов.

Экономический эффект от сокращения транспортных издержек, который, по комментариям многих



**Рис. 2.** Изменение масс газов в 50-литровом объёме в зависимости от давления:  
1 — аргон; 2 — кислород;  
3 — азот; 4 — метан;  
5 — гелий; 6 — водород

компаний СНГ, сложно оценить, проиллюстрируем двумя примерами, широко рекламируемыми российским отделением «Linde Gas».

**Пример 1.** При месячном использовании 20 шт. 40-литровых баллонов по 150 бар каждый переход на новые баллоны потребует всего 12 шт. 50-литровых баллонов с давлением 200 бар. Сто-

имость доставки на 50 км, в среднем составляющая 109 руб. на баллон, сократится с 2180 до 1308 руб. При аренде одного 50-литрового баллона у «Linde Gas», равной 420 руб. в год, экономия затрат на доставку будет 452 руб. в месяц.

**Пример 2.** Один моноблок из 16 шт. 50-литровых ацетиленовых баллонов вмещает 160 кг чистого ацетилена и заменяет в работе 32 обычных 40-литровых баллона с угольным наполнителем (ГОСТ 6217-74) или 32 старых немецких баллона с вместимостью ацетилена 6,2 кг. Это обеспечивает сокращение затрат на перевозку вдвое.

В-шестых, дополнительная долгосрочная выгода достигается инвестированием в приобретение новых облегчённых, а не старых или новых тяжёлых баллонов. Это ведёт и к уменьшению рисков [14], связанных с использованием очень старых баллонов, срок эксплуатации которых достигает предельных 35-40 лет. Так, по некоторым оценкам, цена бывшего в употреблении непереосвидетельствованного баллона составляет 30-40 евро. Тот же баллон, но уже переосвидетельствованный, перепродается некоторыми компаниями в СНГ по цене 80-90 евро. И это при цене нового высококачественного баллона максимум в 170-180 евро. Компаниям, которые средствами на закупку новых баллонов не располагают, но предпочитают избегать рисков, остаётся рекомендовать аренду новых баллонов у более прогрессивных западных компаний, работающих на рынках СНГ. Краткосрочная аренда баллонов дешевле затрат на переосвидетельствование.

В-седьмых, широкое основание баллона Worthington-Heiser, более 87 % диаметра, и его меньшая высота, почти на 30 см, делают баллон более удобным и безопасным при манипулировании и наполнении. Он более устойчив на горизонтальной поверхности и плотнее стоит в паллете (см. рис. 3).

В-восьмых, обеспечиваемая при производстве внутренняя поверхность баллона с меньшей шерохо-

ватостью и отсутствием сварных швов при креплении башмака-подставки, уменьшают возможности скопления влаги и последующей интенсивной коррозии поверхности сосуда.

Например, для избежания попадания влаги после гидроиспытания баллон проходит осушку и тщательный визуальный контроль. В процессе эксплуатации пользователь должен самостоятельно ограничивать взаимодействие поверхности сосуда с кислотными ( $\text{CO}_2$ ) или окисляющими газами ( $\text{O}_2$ ), избегать попадания влаги при монтаже вентиля и т.д.

В-девятых, автоматизированный тест ультразвуком в производственном процессе Worthington-Heiser исключает возможность выпуска баллонов с пористостями и риском микротрещин, в особенности в области дна баллона. К сожалению, в странах СНГ, даже при покупке переосвидетельствованного баллона, клиент не знает, проводился ли тест ультразвуком, который, по мнению экспертов «Swiss TS - Technical Services AG», является хорошо приспособленным для выявления частых дефектов дна [15].

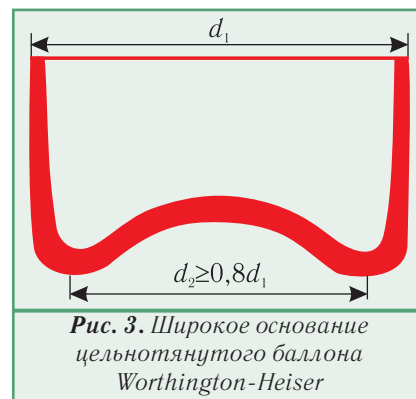
В-десятых, идентичность резьбы горловины импортных баллонов согласно 25E EN629-1/ W28,8 DIN477T1 и резьбы отечественных баллонов с номинальным диаметром 27,8 мм по ГОСТ 9909-81 может служить дополнительным фактором облегчённой адаптации потребителей СНГ к западным сосудам высокого давления.

## 5. БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ БАЛЛОНОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Безопасность эксплуатации обеспечивается: 1) исключением возможности наполнения горючими газами баллонов, предназначенных для негорючих газов, и кислородом баллонов, используемых для горючих газов; 2) необходимой механической прочностью баллонов и надлежащим контролем за их состоянием; 3) соблюдением правил наполнения, транспортирования и их использования.

Для исключения возможности наполнения баллона неподходящим газом в мировой и отечественной практике строго регламентирована окраска и маркировка баллонов. За рубежом положения об окраске и наклейках безопасности оговорены в ISO/FDIS 11625 [16] и BS EN1089-3:1997. Маркировка баллонов предписана требованиями ISO 13769. В РФ предписания по наполнению баллонов оговорены в ПБ 03-576-03 [17].

Показатели механической прочности баллонов,



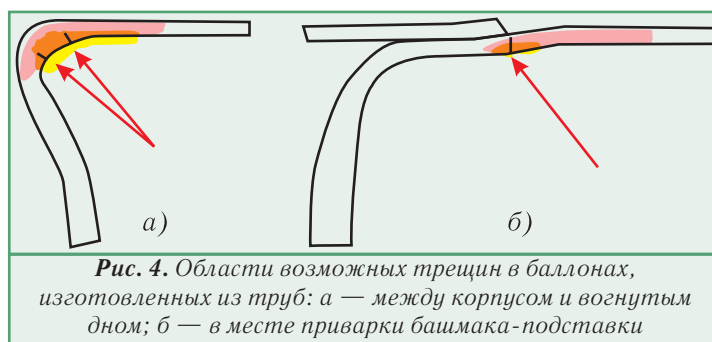
**Рис. 3.** Широкое основание целнотянутого баллона Worthington-Heiser

химического состава материала и методы контроля сосудов устанавливаются международными стандартами ISO 9809-1, ISO 9809-2 [18], EN 1964-1, EN 1964-2 и отечественными ГОСТ 949-73, ТУ 14-3Р-10-94 и ПБ 03-576-03.

Наполнение, транспортирование и использование баллонов высокого давления регулируются Европейскими положениями 97/23/EG (PED — Pressure Equipment Directive) и 99/36/EG (TPED — Transport Pressure Equipment Directive), оперативной инструкцией TPED-INS-01. Все положения TPED должны полностью соответствовать ADR (European Agreement Concerning the International Carriage of Dangerous Goods by Road). Указанные нормы оговаривают сроки переаттестации баллонов, температуру их эксплуатации, рабочее и испытательное давления, правила монтажа сосуда и манипулирования им. Для баллонов, применяемых под метан на автомобилях, в Европейских странах используют стандарт ECE R110, ISO 11439. Кроме правил ПБ 03-576-03 в РФ и ДНАОП 0.00-1.07-94 в Украине [12], для правильного наполнения, транспортирования и использования баллонов под метан применяют в РФ ГОСТ Р 51753-2001 [19] и ТУ1412-073-00186619-2004.

Основные положения безаварийной эксплуатации баллонов детально рассмотрены в монографии В.И. Фанштейна по безопасности производства технических газов [8] и международном стандарте ISO/FDIS 11625 [16]. Сюда относят предотвращение загрязнения сосудов инородными веществами, соблюдение правил переосвидетельствования, маркировки, эксплуатации баллонов и применения соответствующих вентилей. Отметим, что отечественные правила работы с горючими газами в баллонах строже европейских и американских [20]. Несмотря на существующий строгий, а в случае с пунктом 10.2.5 ГОСТ 949-73 Украины завышенный регламент использования баллонов [11], продолжают происходить связанные с ними несчастные случаи [14]. Только в 1998-2001 гг. в «УкрНИИхиммаш» было рассмотрено четыре случая аварийных разрушений кислородных баллонов на территории Украины [21]. Укажем основные причины происходящих аварий.

Во-первых, это связано с тем, что газобаллонный парк в странах СНГ обезличен, отсутствуют его эффективные собственники. Последними должны быть компании с солидной финансовой и технической базой, которые будут отслеживать логистику баллона по всей цепочке: от наполнения газом до получения пустой тары от клиента. Только такие организации смогут заботиться о качестве и безопасности предоставляемых услуг, об улучшении методики тестирования баллона, о выводе из оборота старых баллонов и т.д. В случае же, когда газобаллонный парк обезличен, нет необходимости заниматься долгосрочной перспективой ведения бизнеса, так как нет гарантии, что старый



**Рис. 4.** Области возможных трещин в баллонах, изготовленных из труб: а — между корпусом и вогнутым дном; б — в месте приварки башмака-подставки

баллон вернётся к продавцу газа обратно, и он будет отвечать за последствия.

Во-вторых, отечественные методики тестирования баллонов при производстве и переаттестации должны быть улучшены. Например, более широкое применения теста ультразвуком не только стенок, но и дна баллона, а также места перехода стенок в днище может помочь выявлять зачатки трещин материала, которые невозможно обнаружить даже при гидравлических испытаниях. Именно в этих трещинах скапливается влага, приводящая в дальнейшем к усиленной местной коррозии и разрушению баллона (см. рис. 4) [15]. При переаттестации старых баллонов должна проводиться количественная оценка их остаточного ресурса с учётом воздействия коррозии. В значительной степени эта задача смогла бы быть решена с помощью методов магнитной структуроскопии, предлагаемой компанией «Специальные научные разработки» (г. Харьков) [22].

В-третьих, необходимы гармонизация зарубежных и отечественных технических норм и перенятие прогрессивного опыта. Сегодня такая гармонизация правил в сфере газобаллонного бизнеса уже происходит, например, между странами Евросоюза, где действуют нормы TPED, и неевропейскими странами, как США с нормами DOT\*.

По мере накопления опыта эксплуатации зарубежных баллонов в странах СНГ хочется верить, что будут пересматриваться и совершенствоваться национальные стандарты, а также разрабатываться единые международные нормы, которые позволят устранить технические барьеры в международной торговле, снизят риски и повысят безопасность потребителей газов, улучшат технологию, качество и структуру затрат производителей баллонов. Предпосылкой этому должно стать активное участие украинских и российских компаний в мероприятиях, организуемых EIGA и ЕСМА (Европейской ассоциацией производителей баллонов).

Единственный способ научиться работать безопасно — это перенимать опыт работы в газобаллонном бизнесе у таких западных компаний, как «Linde Gas», «Messer», «Air Liquide» и «Air Products», а также других компаний, связанных с ними деловой практикой. Хотя некоторые из них и проводят политику модернизации своего газобаллонного парка за счёт предоставления более старой тары компаниям в СНГ,

\*1) Процесс известен как модель регулирования ООН (UN Model Regulation).

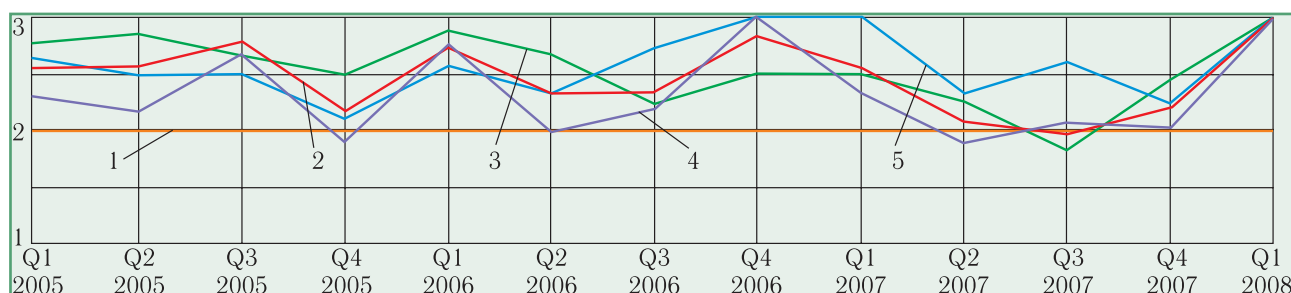


Рис. 5. Удовлетворенность покупателей основными показателями качества продукции Worthington-Heiser:

1 — целевой уровень качества; 2 — общий уровень качества; 3 — качество сопроводительной документации; 4 — качество реагирования на замечания; 5 — качество продукта; Q1...Q4 — квартал соответствующего года

по крайней мере, они ориентированы на определенный стандарт безопасности используемых газовых баллонов, отсутствующий сегодня у некоторых отечественных недобросовестных компаний на рынке технических газов. Инвестиции в новый газобаллонный парк, отвечающий современным стандартам, — это не только повышение безопасности работы, но и увеличение рыночной стоимости газового бизнеса.

Высокое качество продукции Worthington-Heiser (см. рис. 5) позволит преодолеть газобаллонные проблемы стран СНГ и внесёт свой вклад в повышение безопасности на рынке сжатых газов. Подтверждением авторитетности компании «Worthington Cylinders GmbH» как поставщика баллонов высокого давления служит её председательство в ЕСМА и вручение компании австрийских национальных призов качества в 2007 и 2008 гг.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Irani Roy S. Gases in the 21st century. Part 2: Compressed natural gas, CNG today's green fuel?// Gas World. — 2008. — No 8. — P. 52.
2. <http://www.eiga.org/industrialgases/industry.asp>
3. Исследование восточных возможностей — все ещё есть пространство для манёвра// Gas World СНГ. — 2008. — № 2. — С. 16-18.
4. Виньков А., Юданов А. Поделить воздух глобально// Эксперт, № 36 (625), 15 сентября 2008.
5. Попова Л.А., Пронин Е.Н. Баллоны высокого давления для компримированного природного газа// Информационный бюллетень Национальной газомоторной ассоциации РФ, № 2, март 2000 ([http://www.ngvrus.ru/st2\\_6.shtml](http://www.ngvrus.ru/st2_6.shtml)).
6. Прочностная обработка металлокомпозитных баллонов высокого давления/ Я.Г. Осадчий, Е.Н. Крылов, Ю.И. Русинович, П.В. Кононов// Транспорт на альтернативном топливе. — 2008. — № 3. — С. 30.
7. Irani Roy S. Gases in the 21st century. Part 4: Cylinder Package/ Contents Compatibility Issues// Gas World. — 2008. — No 12. — P. 48-49.
8. Фанштейн В.И. Кислород, азот, аргон — безопасность при производстве и применении. — М.: Интермет Инжиниринг, 2008. — 192 с.
9. Павлов Н.В. Создание авторецепиентов для хранения, транспортирования и выдачи сжатого водорода// Технические газы. — 2008. — № 2. — С. 43-47.

10. Рубан А.Г. Инновационное обеспечение лидерства на рынке газовых баллонов// Технические газы. — 2008. — № 2. — С. 49-55.

11. ГОСТ 949-73. Баллоны стальные малого и среднего объёма для газов на  $P_r \leq 19,6$  МПа (200 кгс/см<sup>2</sup>). Технические условия (с изменениями и поправками 1976, 1981, 1982, 1986, 2001 и 2002 гг.)// Введён в действие с 01.01.1975.

12. ДНАОП 0.00-1.07-94. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением (с изменениями и дополнениями). — К.: Госназдорхрантруда Украины, 1994.

13. ISG Doc 124/04/E, revision of TN 514/93. 300 bar High Strength Seamless Steel Gas Cylinders. EIGA 2004 (Available online: <http://www.eiga.org>).

14. Чижиченко В.П. Анализ причин взрыва кислородных баллонов, приведшего к групповому несчастному случаю// Технические газы. — 2008. — № 6. — С. 62-64.

15. Kaelin L. UT Examination of Gas Cylinders (Validation of Testing the Cylinder Base). Swiss TS Technical Services AG, 28.06.2005. (Available online: [http://www.swissts.ch/upload/docs/autosonic/Validierung\\_Boden\\_SwissTS\\_e.pdf](http://www.swissts.ch/upload/docs/autosonic/Validierung_Boden_SwissTS_e.pdf)).

16. ISO/FDIS 11625:2007 (E). Gas Cylinders — Safe Handling. International Standard. ISO. 2007.

17. ПБ 03-576-03. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением// «Российская газета». — № 120/1. — 21 июня 2003 г.

18. ISO 9809-2:2000 (E). Gas Cylinders — Refillable Seamless Steel Gas Cylinders — Design, Construction and Testing. Part 2: Quenched and Tempered Steel Cylinders with Tensile Strength Greater than or Equal to 1100 МПа. International Standard. ISO. 2006.

19. ГОСТ Р 51753-2001. Баллоны высокого давления для сжатого природного газа, используемого в качестве моторного топлива на автомобильных транспортных средствах. — М.: Госстандарт России// Введён в действие с 01.01.2002.

20. И газ, и два, и три// Коммерсантъ «Деньги». — № 15 (621). — 23 апреля 2007 (<http://www.kommersant.ru/doc.aspx?DocsID=761023>).

21. Анализ разрушений и возможности контроля состояния металла кислородных баллонов/ В.М. Долинский, В.М. Стогний, В.Г. Новик и др.// Техническая диагностика и неразрушающий контроль. — 2001. — № 4. — С. 33-36.

22. Магнитный контроль напряжённо-деформированного состояния и остаточного ресурса сосудов, работающих под давлением/ Б.Е. Попов, Е.А. Левин, В.С. Котельников и др.// Безопасность труда в промышленности. — 2001. — № 3. — С. 25-30.